

Sterne, Galaxien und das Universum

Teil 3: Nebel + Sternentstehung

Peter Hauschildt
yeti@hs.uni-hamburg.de

Hamburger Sternwarte
Gojenbergsweg 112
21029 Hamburg

5. Juli 2019

Übersicht

- ▶ Interstellare Materie
- ▶ Sternentstehungsgebiete
- ▶ Protosterne
 - ▶ Entwicklung
 - ▶ Massengewinn & -verlust
- ▶ Sternhaufen

Einleitung

- ▶ Sterne leben sehr lange
- ▶ Sonne: 10Gyr!
- ▶ → wir können einen einzelnen Stern nicht verfolgen
- ▶ aber wir sehen viele verschiedene Sterne
- ▶ in verschiedenen Entwicklungsphasen!
- ▶ → verwende Modelle um die Daten zu verstehen

Einleitung

- ▶ Sterne befinden sind (fast immer) im
- ▶ *hydrostatischem Gleichgewicht*
- ▶ Druckkräfte (nach aussen) = Gravitation
- ▶ Änderungen im Stern
- ▶ → Stern schrumpft oder dehnt sich aus



- ▶ Sterne bestehen aus Gas
- ▶ → können sich nur da bilden wo genügend Gas (etc) ist
- ▶ gibt es solche Stellen?

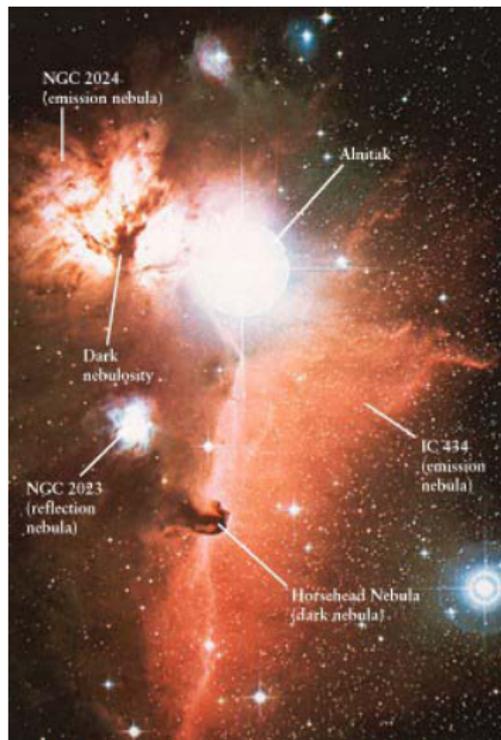
ISM



ISM

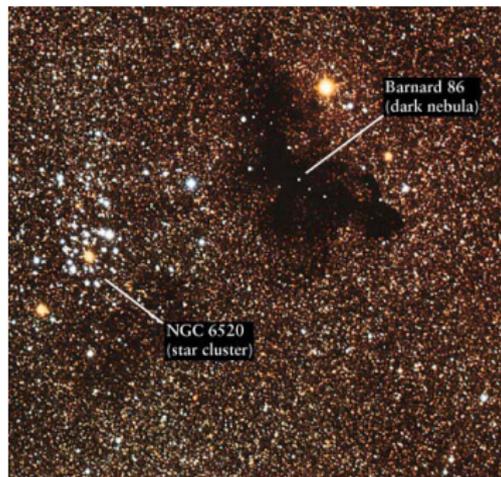
- ▶ Ja:
- ▶ z.B. *Gasnebel* im Orion
- ▶ *Emissionsnebel*
- ▶ 450 pc
- ▶ 300 M_{\odot}
- ▶ Anregung durch 4 heisse Sterne
- ▶ rote Farbe $\rightarrow H\alpha$

ISM



- ▶ auch: *H II Regionen*
- ▶ $T \approx 10000 \text{ K}$
- ▶ $100\text{--}10000 M_{\odot}$
- ▶ aber niedrige Dichte (ly gross!)
- ▶ $1000 \text{ Teilchen/cm}^3$ (Luft: 10^{19})
- ▶ interstellare Linien

ISM



- ▶ Dunkelnebel
- ▶ bestehen aus 'dichtem' Staub
- ▶ 10–100 K
- ▶ 10^4 – 10^9 Teilchen/cm³

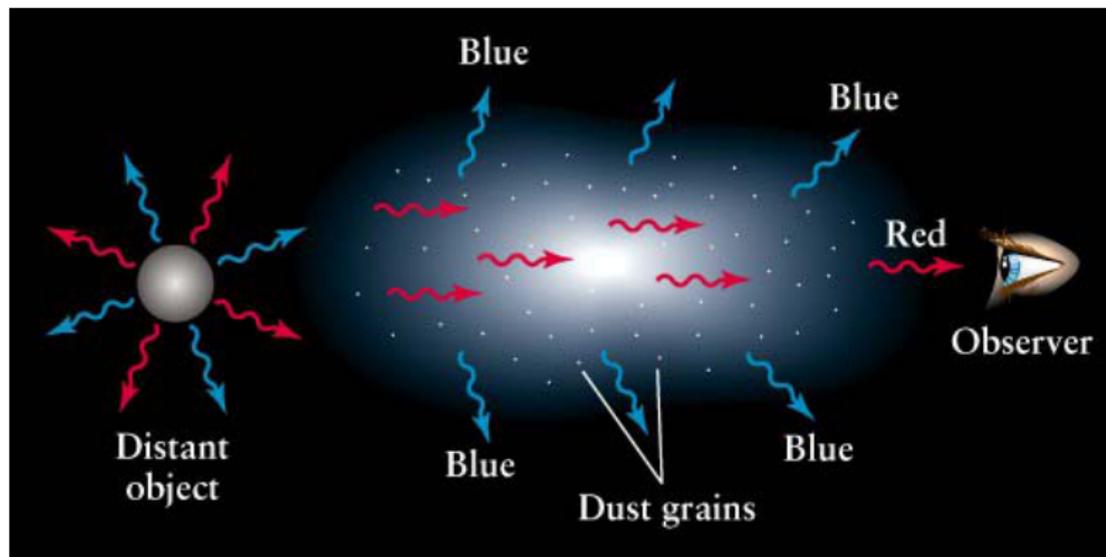


- ▶ Reflexionsnebel
- ▶ geringe Konzentration
feiner Staubteilchen
- ▶ reflektieren blaues Licht
naher Sterne

interstellare Rötung

- ▶ ISM macht Farben 'röter'
- ▶ blaues Licht weg-gestreut (s.o.)
- ▶ rotes Licht bleibt
- ▶ → Sterne etc. erscheinen röter
- ▶ und dunkler!
- ▶ sehr wichtiger Effekt!

interstellare Rötung



interstellare Rötung

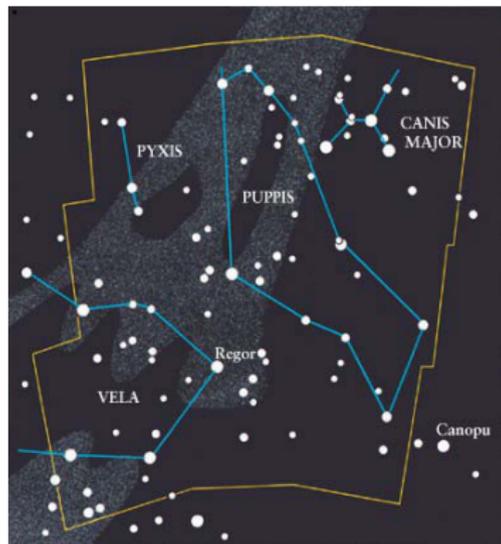


Staubverteilung



- ▶ Staub ist kuehl
- ▶ → strahlt im IR!
- ▶ das kann man beobachten:
- ▶ z.B. mit IRAS bei $60 \mu\text{m}$

Staubverteilung



- ▶ → meistens Milchstrasse
- ▶ genauer (s.u.):
- ▶ in der Scheibe der Milchstrasse
- ▶ → dort werden sich Sterne bilden

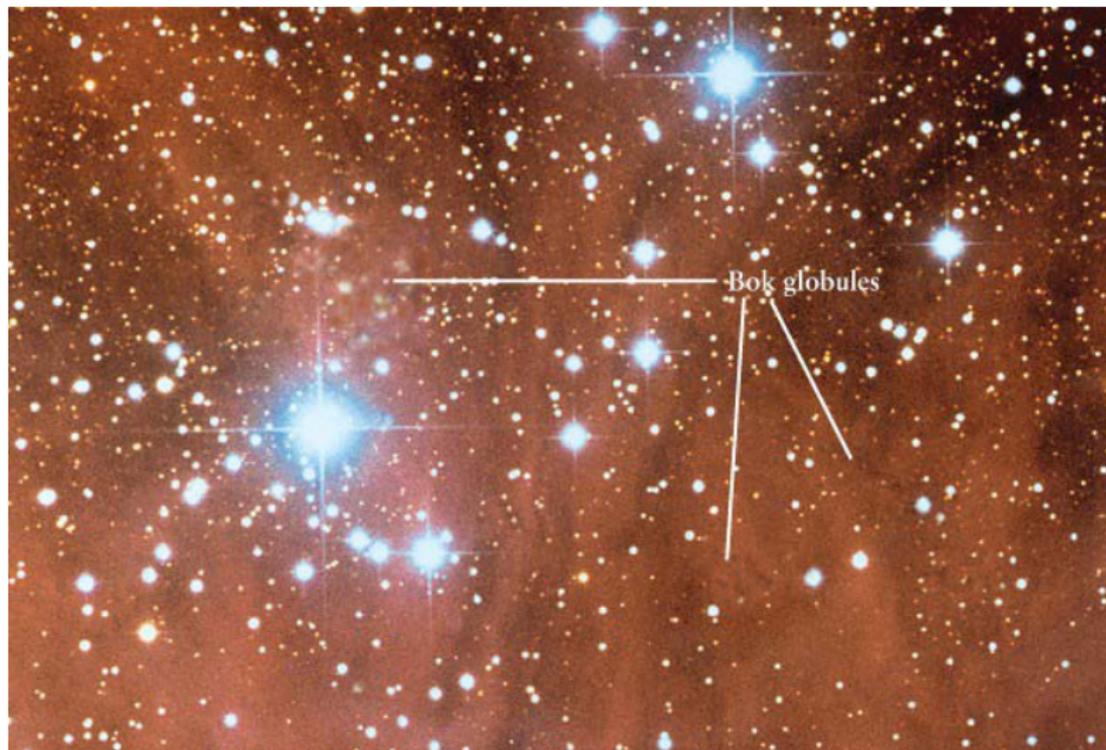
Beispiel



Wo bilden sich Sterne?

- ▶ Sternbildung:
- ▶ Gravitation $>$ Druck
- ▶ 'hohe' Dichte
- ▶ geringer Druck
- ▶ \rightarrow niedrige Temperatur
- ▶ beste Kandidaten:
- ▶ Dunkelwolken!

Bok-Globulen



Wo bilden sich Sterne?

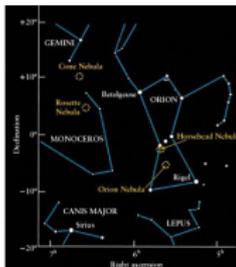
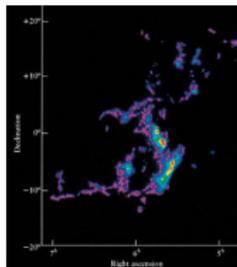
- ▶ typisch: 1000's M_{\odot}
- ▶ → viele Sterne bilden sich simultan!
- ▶ Jeans Masse:
- ▶ kleinste Masse einer Wolke mit geg. Dichte die kollabieren kann

$$M_J = \left(\frac{5kT}{6\mu m_H} \right)^{3/2} \sqrt{\frac{3}{4\pi\rho}}$$

Jeans Masse

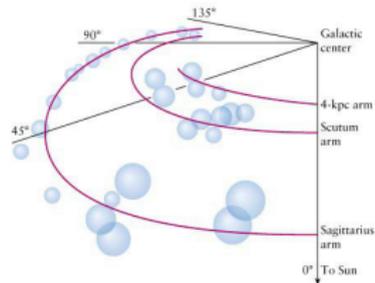
- ▶ diffuse Wolke:
 - ▶ $T = 50 \text{ K}$, $n = 500 \text{ cm}^{-3}$
 - ▶ $\rightarrow \rho = 8.4 \times 10^{-22} \text{ g}$
 - ▶ $M_J \approx 1500 M_\odot$
 - ▶ $10\times$ grösser als max. Sternmasse
- ▶ Riesen-Molekül-Wolke:
 - ▶ $T = 150 \text{ K}$, $n = 10^8 \text{ cm}^{-3}$
 - ▶ $M_J \approx 17 M_\odot$

GMCs



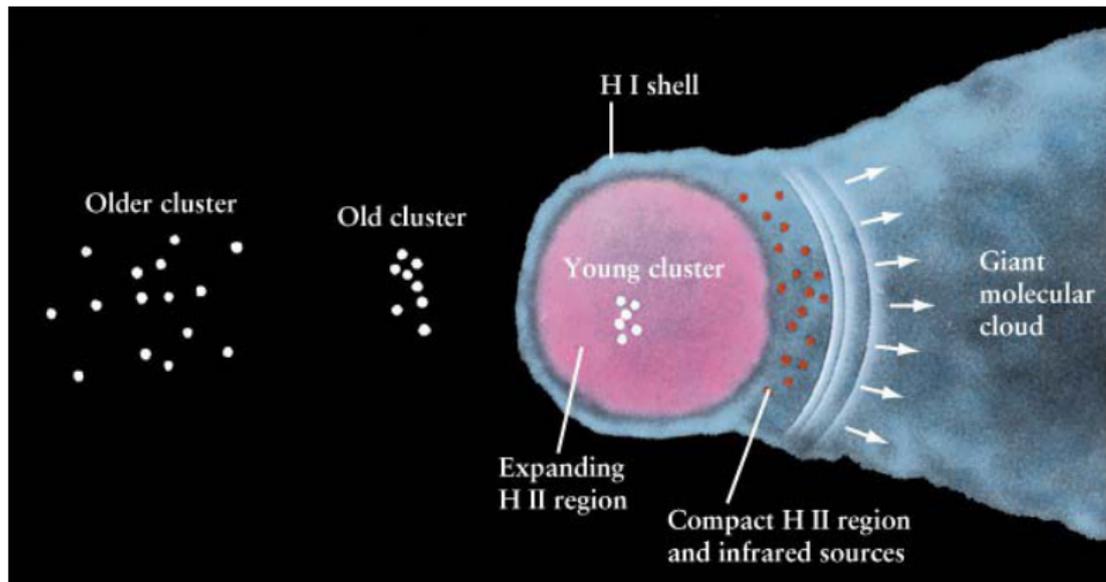
- ▶ *giant molecular clouds*
- ▶ werden durch CO Linien nachgewiesen
- ▶ im mm Bereich, z.B. 2.6 mm
- ▶ können $500000 M_{\odot}$ erreichen

GMCs



- ▶ GMCs liegen in den Spiralarmen
- ▶ normalerweise sind GMCs stabil
- ▶ → keine globale Sternbildung
- ▶ aber 'Kettenreaktion' möglich:

Kettenreaktion

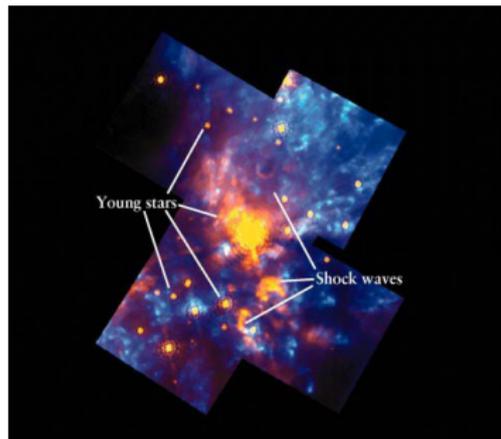


Orion Nebel



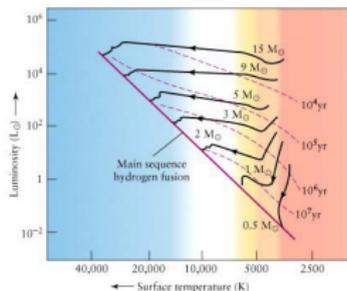
- ▶ sichtbares Licht
- ▶ 4 heiße Sterne
- ▶ regen den Nebel zum Leuchten an

Orion Nebel



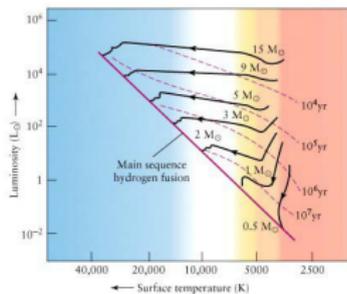
- ▶ IR Licht
- ▶ gelb-orange: junge Sterne, ISM
- ▶ blau: H_2
- ▶ Schockwellen erzeugt durch Sternwinde

Protostern-Entwicklung



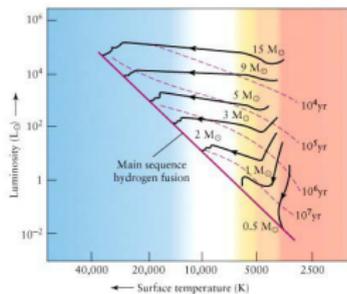
- ▶ folge dem Kollaps der Wolke mit Computer Simulationen
- ▶ diese lassen sich am Besten im HRD darstellen
- ▶ 'evolutionary tracks'

Protostern-Entwicklung



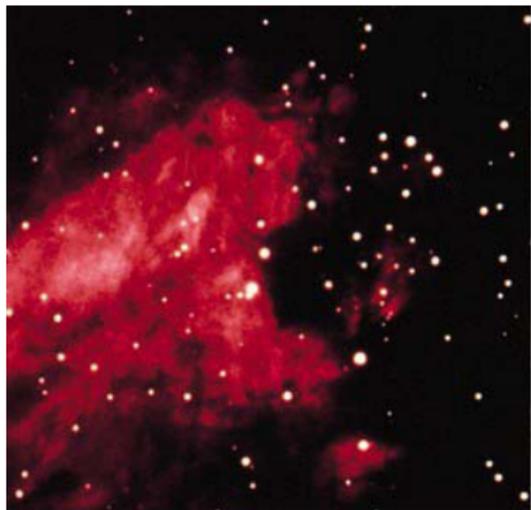
- ▶ Wolke kollabiert →
- ▶ Dichte erhöht sich
- ▶ Gravitationsenergie →
- ▶ Temperatur steigt an
- ▶ erreicht schnell
2000–3000 C

Protostern-Entwicklung



- ▶ Leuchtkraft sehr hoch!
- ▶ nach ca. 1000 yr:
- ▶ $20 R_{\odot}$ bei $100 L_{\odot}$
- ▶ alles aus Gravitation!
- ▶ trotzdem nicht leicht zu sehen

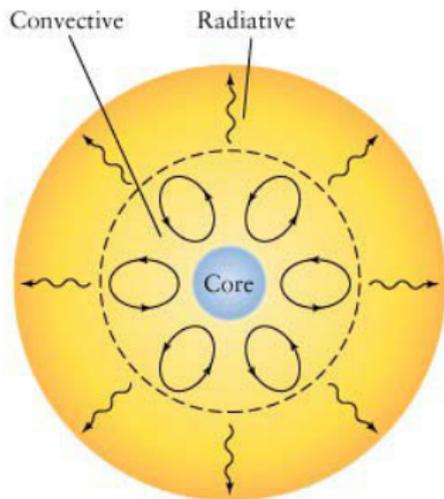
Protosterne



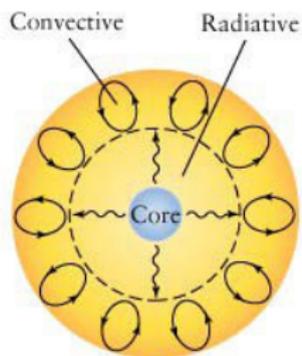
Protosterne

- ▶ umgeben vom Rest der Wolke
- ▶ → *cocoon*
- ▶ Protostern nur im IR sichtbar
- ▶ Kerntemperatur steigt schneller/mehr an als T_{eff}
- ▶ sobald Wasserstoffbrennen zündet
- ▶ Stern ist geboren
- ▶ landet auf der HR

Protosterne



a Mass more than about $4 M_{\odot}$



b Mass between about $4 M_{\odot}$ and $0.8 M_{\odot}$



c Mass less than $0.8 M_{\odot}$

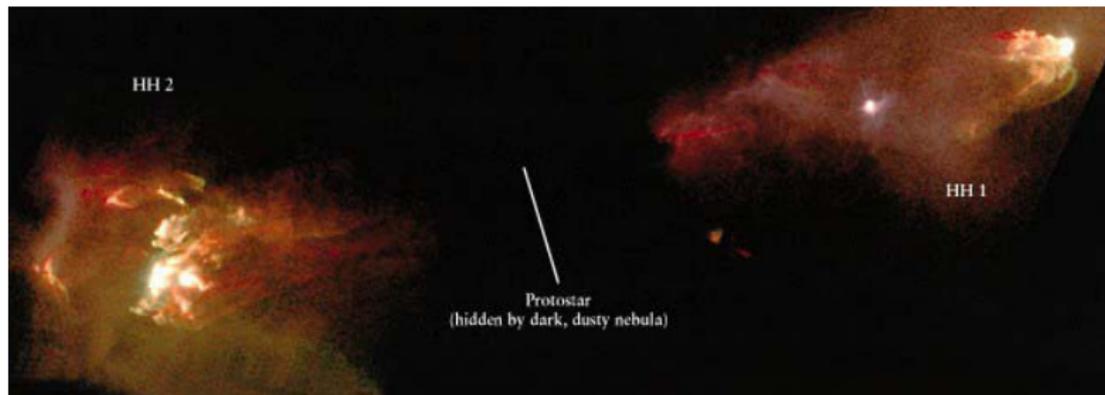
► HR Struktur hängt von M ab!

Massenverlust



- ▶ Protosterne *verlieren* Masse
- ▶ wenn sie nahe an der HR sind
- ▶ Beispiel: T Tauri Sterne
- ▶ $< 3 M_{\odot}$, 10^6 yr alt
- ▶ verlieren 10^{-8} – $10^{-7} M_{\odot}/\text{yr}$
- ▶ Sonne: $10^{-14} M_{\odot}/\text{yr}$
- ▶ Phase dauert ca. 10^7 yr

Bipolare Jets

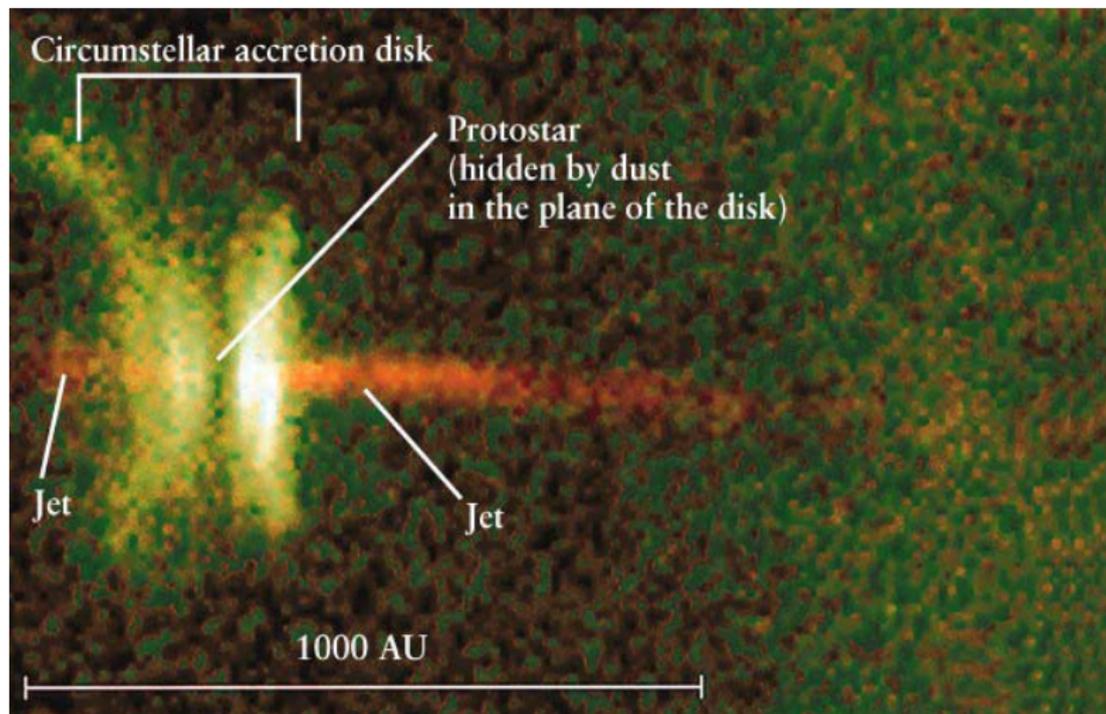


- ▶ scheint in allen Protosternen aufzutreten
- ▶ Jets werden ausgestossen und enden in
- ▶ *Herbig-Haro Objekten*
- ▶ 460 pc von der Erde, 0.34 pc voneinander

Akkretionsscheiben

- ▶ sehr oft zusammen mit bipolaren Jets
- ▶ zusammenfallender Nebel bildet Scheibe
- ▶ Materie strömt durch die Scheibe auf den (Proto)Stern
- ▶ dadurch wird die Rotation des Sterns gebremst
- ▶ später können sich Planeten aus der Scheibe bilden

Akkretionsscheiben



Sternhaufen



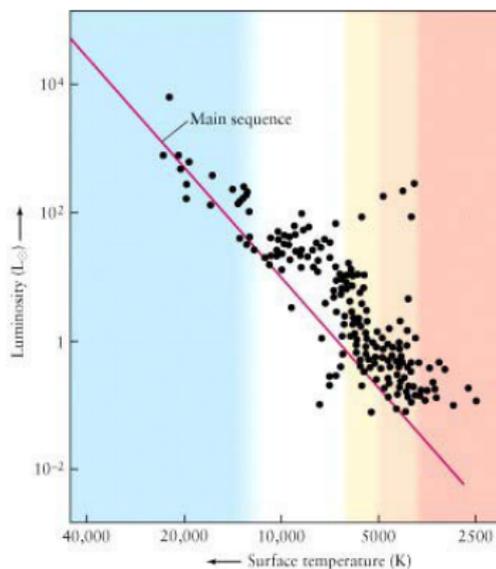
- ▶ Masse einer kollabieren Wolke gross
- ▶ → es bilden sich Haufen von Sternen
- ▶ massive Sterne entwickeln sich schneller
- ▶ sind früher auf der HR
- ▶ und heisser!

Sternhaufen



- ▶ → beeinflussen den Rest des Nebel
- ▶ Beispiel: *Eagle Nebel*
- ▶ cocoons werden 'weggeblasen'
- ▶ weniger massereiche Sterne

Sternhaufen



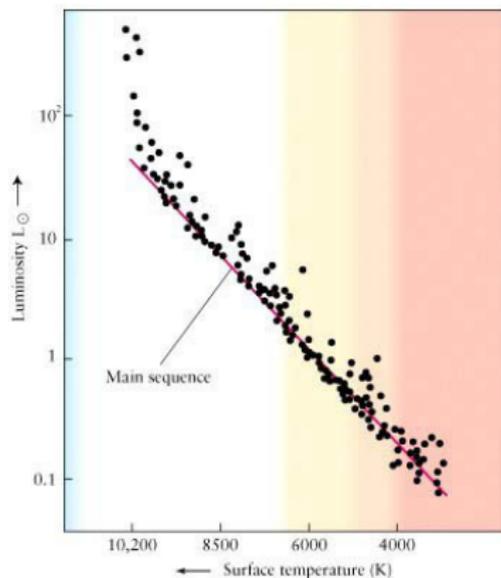
- ▶ massereiche Sterne erreichen HR früher
- ▶ HRD eines jungen clusters
- ▶ ca. 2 Myr alt
- ▶ ca. 800 pc entfernt

Sternhaufen



- ▶ Beispiel Pleiaden
- ▶ Entfernung ca. 117 pc
- ▶ etwa 500 Sterne
- ▶ umgeben von Reflexionsnebeln

Sternhaufen



- ▶ HR Diagramm:
- ▶ auch massearme Sterne haben HR erreicht
- ▶ massereiche schon wieder weg!
- ▶ ca. 50 Myr alt